doi:10.13866/j.azr.2018.06.10

近 63 a 安康地区降水与太阳黑子活动的相关性分析①

张蓓蓓, 王 朋, 张 辉, 武悦萱, 王苗苗
(陕西省灾害监测与机理模拟重点实验室,宝鸡文理学院地理与环境学院,陕西 宝鸡 721013)

摘 要: 依据安康气象局安康站 1953—2015 年逐日降水量和太阳黑子逐年相对数,利用 Mann-Kendall 突变检验、Morlet 小波分析等方法,对安康地区近 63 a 降水变化特征及其与太阳黑子相对数关系进行了分析。结果显示:近 63 a 安康地区年降水量以及夏季降水整体呈增加趋势,增加量分别为 0.99 $mm \cdot a^{-1}$、1.65 $mm \cdot a^{-1}$,春季、秋季和冬季降水整体呈下降趋势,减少量分别为 0.26 $mm \cdot a^{-1}$、0.35 $mm \cdot a^{-1}$、0.06 $mm \cdot a^{-1}$,降水集中分布在夏季和秋季。年降水距平极值与太阳黑子相对数峰谷值主要存在 0 ~ 3 a 滞后;近 63 a 安康地区年降水有显著 3 a 和 28 a 的变化周期,与太阳黑子相对数的 9 a 变化周期存在一定差异。

关键词: 降水量; 太阳黑子; 滑动平均; 小波分析; 安康地区

降水是影响人类社会系统和自然生态系统发展的重要气候要素之一,其异常变化会引发干旱、洪涝等灾害的发生[1-3]。受全球气候变暖影响,因降水变化而引发的极端天气事件对农业和生态环境安全的威胁将进一步加深[4-5]。研究表明,中国东北的中南部、华北、西南等地区降水减少,而秦岭—淮河以南、青藏高原和西北等地区降水明显增加[6-8]。中国境内不同区域降水的年际变化和季节差异与太平洋年代振荡(PDO)、北极涛动(AO)以及厄尔尼诺(ENSO)等事件有较强的相关性[9-11]。因此,加强区域范围内降水时空变化规律及其成因探讨,对合理利用水资源及开展防灾减灾工作具有重要意义。

降水是一个较复杂的过程,不仅受地球内部海气系统的影响,同时也受太阳活动强弱的影响。而太阳黑子作为太阳活动强弱的重要指标之一,其相对数的多少及周期长短会对地球气候产生一定影响[12-13]。前人研究显示:某一区域降水与太阳黑子相对数的峰谷值和周期变化存在一定的对应关系[14]。Bal 等[15]认为,太阳活动强弱会对全球不同纬度降水分布产生一定影响。Wang 等[16]认为,位于东亚夏季风中部的淮河流域 6 月降水与 11 a 太阳黑子周期存在可靠的正相关关系。曹永强等[17]认为,辽西北地区近 54 a 降水距平值与太阳黑子数成负相关关系,并存在 5 a 滞后性。张肖南等[18]认为,西安地区夏秋季降水与太阳黑子 9 a 周期存在较强的相关性。马晓刚等[19]认为,阜新夏季平均降水与太阳黑子数成负相关,夏季异常降水与太阳黑子谷值年相关性较强。本文对安康地区近 63 a 降水和不同季节降水变化规律进行了分析,并探讨了安康地区年降水与太阳黑子活动的关系,以期为安康地区未来降水变化规律及其成因提供参考。

1 研究区概况

安康地处陕西省东南部,地理位置 108°01′ ~ 110°01′E 与 31°42′ ~ 33°49′N,北依秦岭,南靠巴山,东临湖北省,南接重庆市。辖 1 区 9 县,面积约 2.45×10^4 km^2,常住人口 2.66×10^6。其地貌呈现南北高山夹持,河谷盆地居中的特点。以汉江为界,分为两大地域,北为秦岭地区,南为大巴山地区,以高山、盆地地貌为主。该区属亚热带大陆性季风气候,年平均降水量 700 ~ 1 050 mm,集中在 6—9 月,四季分明,雨热同期,夏季高温多雨,冬季寒冷少雨。年生长期 290 d,年无霜期 253 d,年平均日照时数 1 610 h,多年平均气温 15 ~ 17 ℃。多山地分布使得垂直地域性气候明显。该区以种植水稻、玉米等作物为主,但夏季易受干旱和洪涝灾害影响。

① **收稿日期:** 2018-03-13; **修订日期:** 2018-06-14
基金项目: 国家自然科学基金(41601016);陕西省科技厅自然基金专项(2017JQ4023);宝鸡文理学院重点项目(ZK2018025)
作者简介: 张蓓蓓(1983-),女,博士,副教授,主要从事生态学研究

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

选取安康市安康气象站 1953—2015 年逐日降水数据,将逐日数据累积求和计算出每月降水数据,提取逐年、春季、夏季、秋季以及冬季降水量。1953—2015 年太阳黑子活动相对数数据来自 SIDC-Solar Influences Data Analysis Center(网站 http://sidc. oma. be/products/meu/index. php)。

2.2 研究方法

2.2.1 Mann-Kendall 突变检验法　Mann-Kendall 检验在降水、气温等气候现象的非参数突变检验中应用广泛,其优势是样本不需要遵从一定的分布,并能揭示时间序列的突变特征[20]。假设时间序列数据($X_1,\cdots,X_n$)是 n 个独立的、随机变量同分布的样本;对于所有的 $k,j\leqslant n$,且 $k\neq j$,X_k 和 X_j 的分布是不相同的,对于具有 n 个样本的时间序列 x,构造一秩序:

$$S_k = \sum_{k=1}^{n-1}\sum_{j=k-1}^{n} \mathrm{sgn}\,(X_j - X_k) \quad (1)$$

其中,

$$\mathrm{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1, (X_j - X_k) > 0 \\ 0,\ (X_j - X_k) = 0 \\ -1,\ (X_j - X_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中:S_k 为正态分布,其均值为 0,sgn 为符号函数。

定义统计变量:

$$UF_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{\mathrm{Var}(S_k)}},\quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (3)$$

(3)式中:

$$E(S_k) = k(k+1)/4;$$

$$\mathrm{Var}(S_k) = k(k-1)(2k+5)/72 \quad (4)$$

UF_k 为标准正态分布的统计量,$\mathrm{Var}(S_k)$ 为方差。给定显著性水平 α,若 $|UF_k| > U_{\alpha/2}$,则表明序列存在明显的趋势变化。将时间序列 x 按逆序排列,再按照下式计算 UB_k。

$$\begin{cases} UB_k = -UF_k \\ k = n+1-k \end{cases},\quad (k=1,2,\cdots,n) \quad (5)$$

通过分析统计序列 UF_k 和 UB_k 可进一步分析序列 x 的趋势变化,并确定突变时间和区域。若 UF_k 大于 0,表明序列呈上升趋势,小于 0 则呈下降趋势;超过临界曲线时,表明其上升或下降趋势显著,UF_k 和 UB_k 在临界曲线之间出现交点就是突变开始的时刻。

2.2.2 小波分析法　Morlet 小波具有时—频多分辨功能,它能揭示出隐藏在时间序列中的多种变化周期,反映系统在不同时间尺度中的变化趋势[21]。小波函数是指具有震荡性、能够迅速衰减到零的一类函数,即小波函数 $\psi(t)\in L^2(R)$ 满足:

$$\int_{-\infty}^{+\infty}\psi(t)\,\mathrm{d}t = 0 \quad (6)$$

式中:$\psi(t)$ 为基小波函数,它可通过尺度的伸缩和时间轴上的平移构成一簇函数系:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right);\quad a,b\in R, a\neq 0 \quad (7)$$

若 $\psi_{a,b}(t)$ 是由(7)式给出的子小波,对于给定的能量有限信号 $f(t)\in L^2(R)$,其连续小波变换:

$$W_f(a,b) = |a|^{-1/2}\int_R f(t)\bar{\psi}\left(\frac{t-b}{a}\right)\mathrm{d}t \quad (8)$$

式中:$W_f(a,b)$ 为小波变换系数;$f(t)$ 为一个信号或平方可积函数;a 为伸缩尺度;b 为平移参数。将小波系数的平方值在 b 域上积分,就可得到小波方差,即:

$$\mathrm{Var}(a) = \int_{-\infty}^{\infty}\left|W_f(a,b)\right|^2 \mathrm{d}b \quad (9)$$

小波方差随尺度 a 的变化过程,称为小波方差图,它能反映信号波动能量随尺度 a 的分布。小波方差图可用来确定信号中不同尺度扰动的相对强度和存在的主要时间尺度,即主周期。

3 结果分析

3.1 降水年际变化

由图 1 可知,安康地区多年平均降水量为 813.8 mm,降水极大值在 2012 年,为 1 231.9 mm,极小值在 1999 年,为 525.8 mm。由 5 a 滑动平均曲线图 1 可知,1953—1970 年、1981—1999 年、2011—2015 年降水呈下降趋势,1971—1980 年、2000—2010 年降水显著上升。安康近 63 a 降水年内分布不均,整体呈现微弱增加趋势,年均增加 0.99 mm。这与李斌等[22]认为,陕南地区近 50 a 降水年际变化较大,其南部及东南部降水呈增加趋势的研究结果一致。

3.2 降水季节变化

由图 2 可知,春季多年平均降水量为 184 mm,

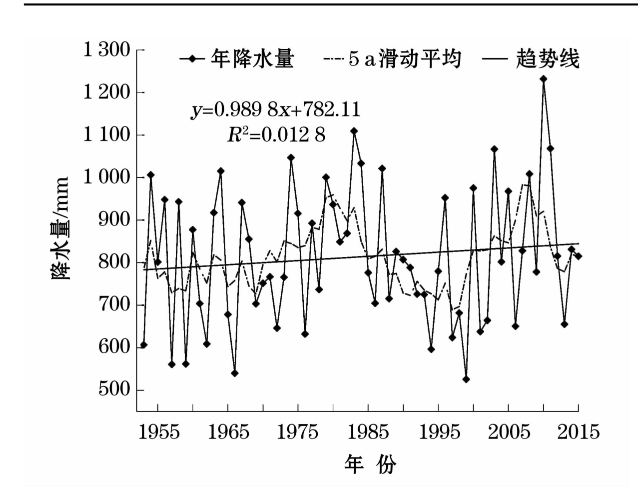


图1 安康地区降水量5 a滑动平均变化序列

Fig. 1 The 5 a moving average of annual precipitation in the Ankang region

占年降水量的22.61%,降水极大值在1967年,为336.9 mm,极小值在1955年,为87.5 mm。春季降水在1953—1963年、1979—1990年、1997—2015年呈增加趋势,1964—1978年、1991—1996年呈下降趋势;夏季多年平均降水量为376 mm,占年降水量的46.20%,降水极大值在2010年,为828.6 mm,极小值在1966年,为108.3 mm,夏季降水在1966—1979年、1999—2007年呈增加趋势,1953—1965年、1980—1998年、2008—2015年呈下降趋势;秋季多年平均降水量为232.4 mm,占年降水量的28.56%,降水极大值在2011年,为526.1 mm,极小值在2007年,为61 mm,秋季降水在1953—1982年、1998—2015年波动上升,1983—1997年呈下降趋势;冬季多年平均降水量为21.4 mm,占年降水量的2.63%,降水极大值在1989年,为70.5 mm,极小值在2012年,为3.1 mm,冬季降水在1953—1971年、1978—1984年、1990—1996年、2004—2015年呈下降趋势,1972—1976年、1985—1989年、1997—2003年呈增加趋势。由降水拟合曲线可知,春季、秋季和冬季降水整体呈微弱下降趋势,年均减少量分别为0.26 mm、0.35 mm、0.06 mm,夏季降水增加趋势明显,年均增加1.65 mm。这与刘维成等[23]认为,西北地区东部降水集中在夏秋季,夏季降水增加趋势最为显著的研究结果一致。

3.3 降水突变分析

由图3可知,*UF*值在20世纪70—90年代以及21世纪初总体大于0,20世纪80年代接近临界值,表明该时期降水总体呈增加趋势,80年代最为明

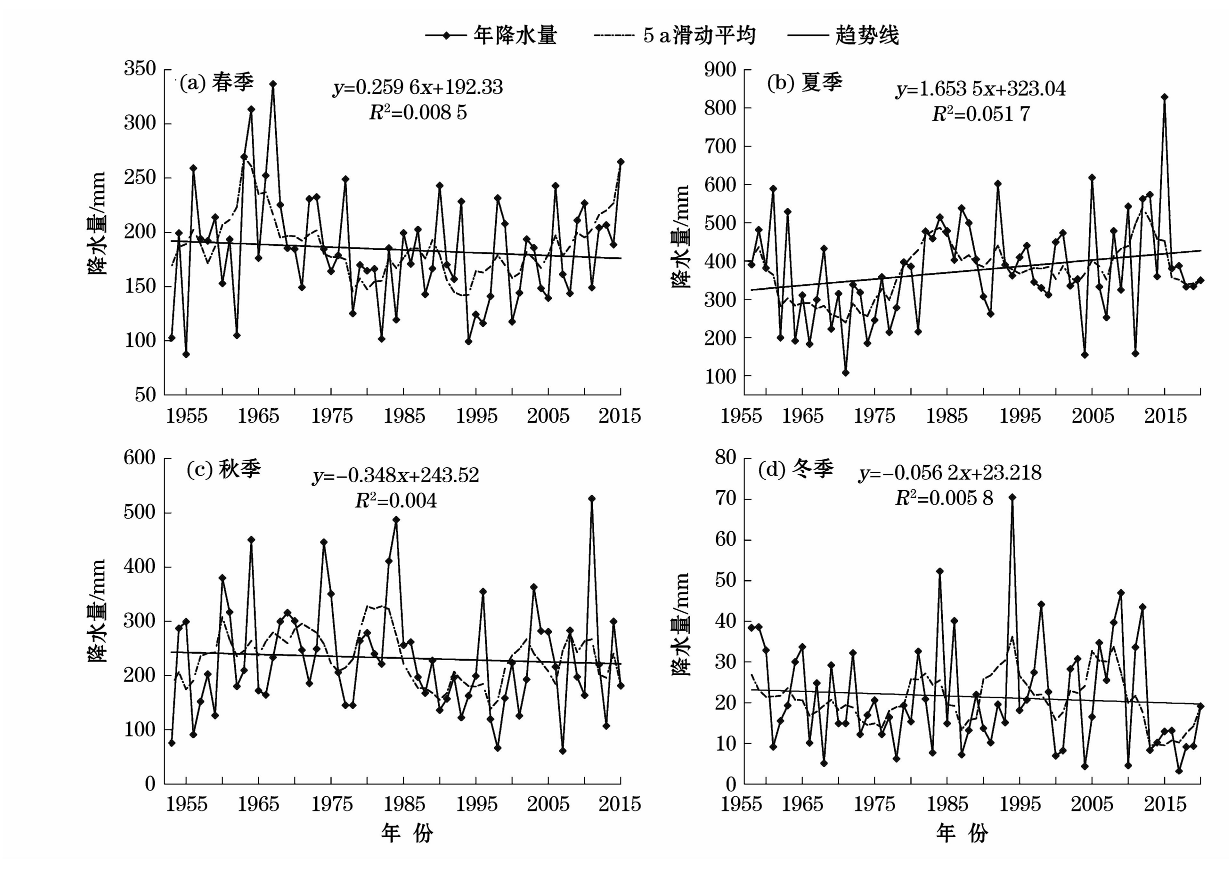


图2 安康地区不同季节降水量5 a滑动平均序列

Fig. 2 The 5 a moving average of precipitation in different seasons in the Ankang region

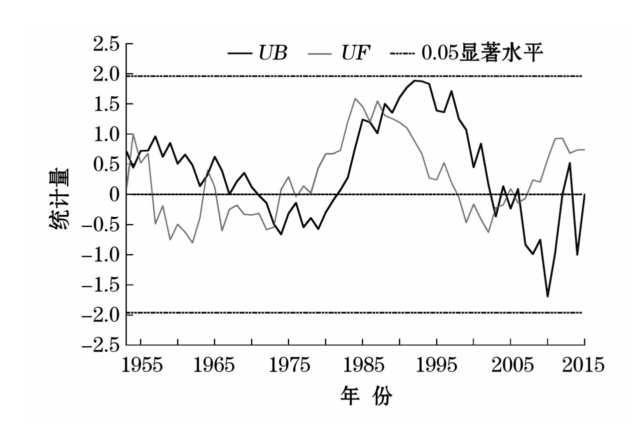


图 3　安康地区年降水量时间序列 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 3　Mann-Kendall mutation test of annual precipitation in the Ankang region

显,*UF* 值在 20 世纪 50—70 年代、20 世纪末整体小于 0,表明该时段降水减少,部分 *UF* 值大于 0,降水则增加。在临界值内 *UF* 和 *UB* 值存在多个交点,大体分布在 20 世纪 50、60、70、80 年代以及 21 世纪初,表明安康地区近 63 a 降水发生多次突变。

由图 4 可知,春季 *UF* 值在 20 世纪 80 年代以前大于 0,该时期降水整体呈增加趋势,20 世纪 80 年代以后小于 0,该时期降水呈下降趋势。在临界值内 *UB* 与 *UF* 值存在两个交点,分别是 1971 年和 1974 年,表明降水在此时刻发生了突变;夏季 *UF* 值在 20 世纪 80 年代以前小于 0,该时期降水呈下降趋势, 80 年代以后大于 0,降水呈显著增加趋势,在临界值内 *UB* 与 *UF* 值在 1977 年存在一个交点,表明夏季降水在 1977 年发生了突变;秋季 *UF* 值在 20 世纪 90 年代以前大于 0,该时期降水呈增加趋势, 90 年代以后小于 0,降水呈下降趋势。在临界值内 *UB* 与 *UF* 值存在多个交点,分布在 1989—1990 年和 2010—2015 年,表明秋季降水发生了多次突变;冬季 *UF* 值在 21 世纪以前小于 0,表明降水呈减少趋势,21 世纪以后大于 0,表明降水呈增加趋势。在临界值内 *UB* 与 *UF* 值存在多个交点,分布在 1954—1956 年、1975—2008 年,表明冬季降水发生了多次突变。安康近 63 a 春季和夏季降水发生突变次数较少,秋季和冬季发生了多次突变,表明春季和夏季降水变化趋势较稳定,秋季和冬季降水突变率大。

3.4　年降水量与太阳黑子活动的相关性

由图 5 可知,太阳黑子相对数有显著性的周期

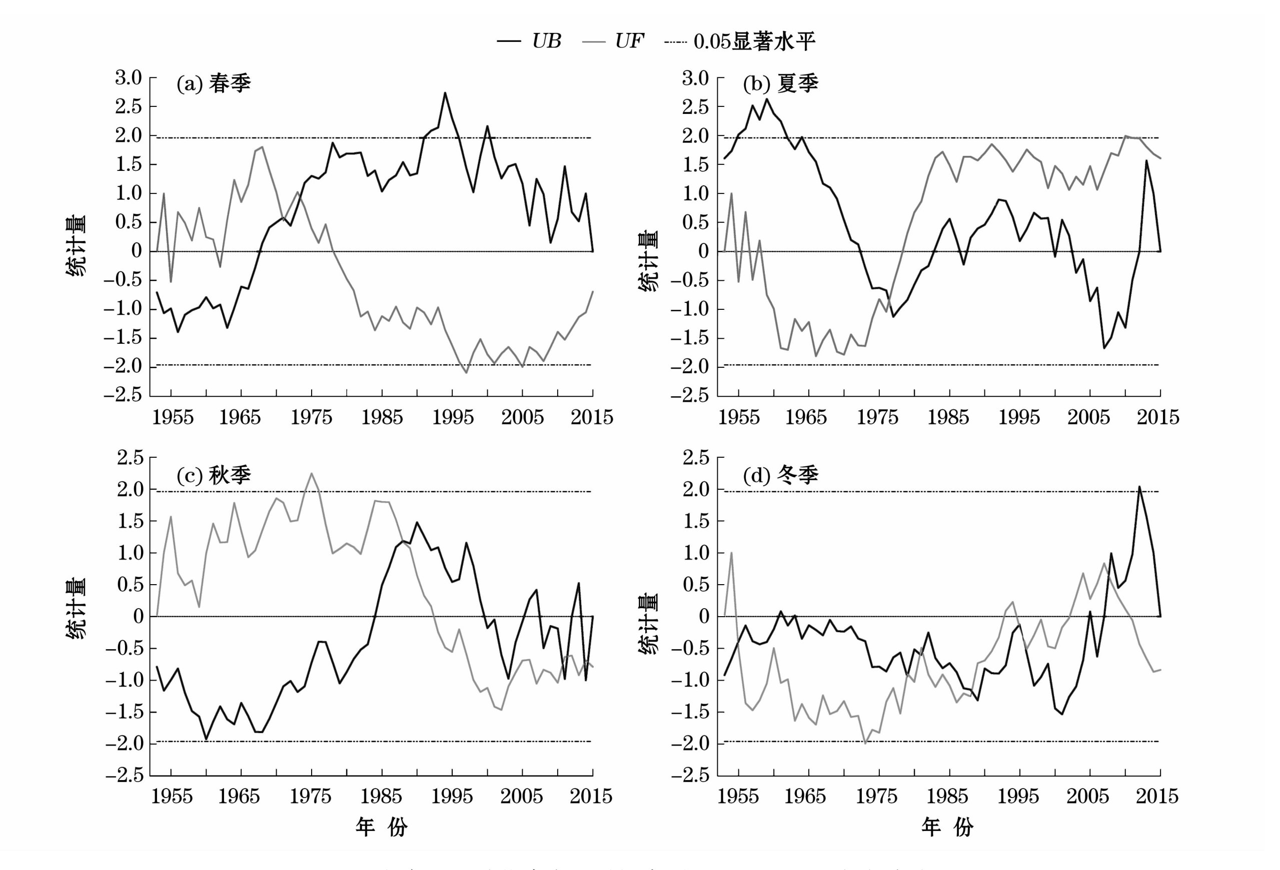


图 4　安康地区季节降水量时间序列 Mann-Kendall 突变检验

Fig. 4　Mann-Kendall mutation test of precipitation in different seasons in the Ankang region

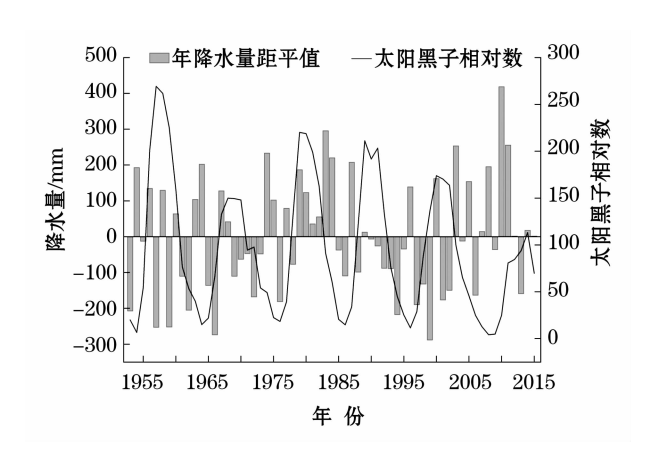


图5 太阳黑子相对数和年降水距平变化序列

Fig. 5 Variation of relative sunspot number and annual precipitation anomaly

变化,存在6个上升期和5个下降期,对应6个极大值年(M 年),分别是1957年、1968年、1979年、1989年、2000年、2014年,5个极小值年(m 年),分别是1964年、1976年、1986年、1996年、2008年。1953—2015年降水距平出现了5个极大值年,分别是1964年、1974年、1983年、1996年、2010年,6个极小值年,分别是1957年、1966年、1976年、1994年、1999年、2013年。降水极大距平值除1994年超前太阳黑子谷值5 a外,其他年份滞后0~3 a,降水极小距平值除2008年超前太阳黑子峰值2 a外,其他年份滞后0~3 a。

由表1可知,在太阳黑子活动极大值年附近降水距平值和为-91.6 mm,太阳黑子活动极小值年附近降水距平值和为317.6 mm。太阳黑子 m、$m-1$ 年降水正距平值较多,$m+1$ 负距平值较多,M 年降水正距平值较多,$M+1$ 年和 $M-1$ 年负距平值较多。

表1 太阳黑子极值年附近降水距平变化

Tab. 1 Variation of precipitation anomaly around the sunspot extreme years

	极小值年 m 附近			小计	极大值 M 年附近			小计
	$m-1$	m	$m+1$		$M-1$	M	$M+1$	
1	103.6	201.6	-135.7	169.5	134.4	-252.9	129.2	10.7
2	101.8	-181.3	78.7	-0.8	127.3	41.5	-110.3	58.5
3	-37.3	-109.2	207.4	60.9	-76.8	186.5	122.9	232.6
4	-34.2	138.6	-189.8	-85.4	-98.6	12.4	-6.7	-90.9
5	14.1	194.9	-35.6	173.4	-288	161.8	-176.3	-302.5
合计				317.6				-91.6

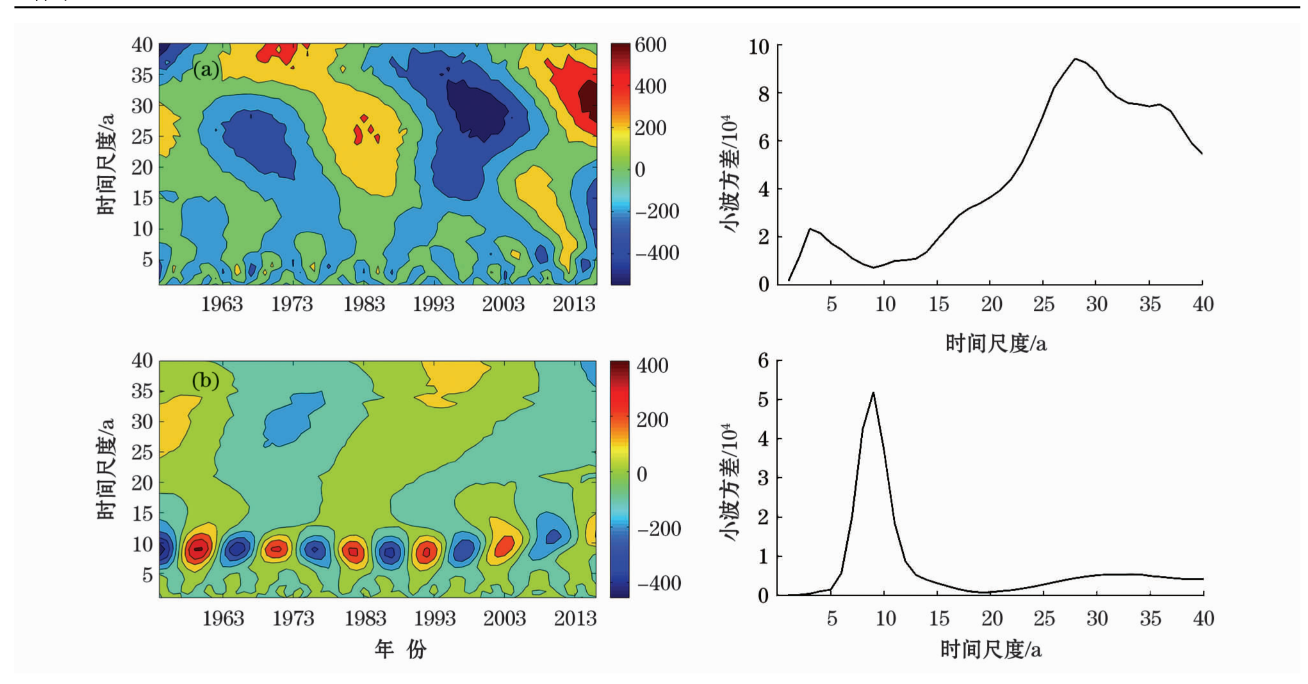


图6 安康地区年降水(a)与太阳黑子相对数(b)的小波变化分析

Fig. 6 Wavelet variation analysis of annual precipitation (a) and relative sunspot number (b) in the Ankang region

3.5 年降水量与太阳黑子活动周期的相关性

小波分析理论在大气科学和数值分析等领域中应用广泛,主要用于分析时间序列的多种变化周期和不同时间尺度中的变化趋势。利用 MATlab 软件中的 Morlet 小波分析模块,对近 63 a 安康地区年降水和太阳黑子相对数的变化周期进行了分析。从图 6a 降水小波实部等值线分布可知,安康地区年降水主要存在两个变化周期,分别是 2 ~ 5 a 和 25 ~ 30 a,分别对应小波方差 3 a 和 28 a 峰值,表明安康地区近 63 a 降水具有显著 3 a 和 28 a 变化周期。从图 6b 太阳黑子相对数小波实部等值线分布可知,太阳黑子数具有显著 8 ~ 11 a 变化周期,对应小波方差 9 a 峰值,表明近 63 a 太阳黑子数具有 9 a 最强震荡周期。这与乐贵明等[24]认为太阳黑子数最强周期介于 9.29 ~ 11.43 a 之间,杨若文等[25]认为太阳黑子数 8 ~ 11.4 a 的振荡周期最稳定,奚秀梅等[26]认为太阳黑子数具有显著 9 a 变化周期的结果基本一致。安康地区近 63 a 年降水与太阳黑子相对数变化周期不存在可靠对应关系,表明太阳黑子活动对安康地区降水影响较小。

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 近 63 a 安康地区年均降水量为 813.8 mm,整体呈增加趋势,年均增加 0.99 mm,在 20 世纪 50、60、70、80 年代以及 21 世纪初降水发生了多次突变。

(2) 安康地区春季多年平均降水量为 184 mm,占年降水量的 22.61%,夏季多年平均降水量为 376 mm,占年降水量的 46.20%,秋季多年平均降水量为 232.4 mm,占年降水量的 28.56%,冬季多年平均降水量为 21.4 mm,占年降水量的 2.63%,春季、秋季和冬季降水整体呈微弱下降趋势,年均减少量分别为 0.26 mm、0.35 mm、0.06 mm,夏季降水增加趋势明显,年均增加 1.65 mm。春季降水在 1971 年和 1974 年发生了突变,夏季降水在 1977 年发生了突变,秋季降水在 1989—1990 年和 2010—2015 年间发生了多次突变,冬季降水在 1954—1956 年、1975—2008 年发生了多次突变。

(3) 降水极大距平值除 1994 年超前太阳黑子谷值 5 a 外,其他年份滞后 0 ~ 3 a,降水极小距平值除 2008 年超前太阳黑子峰值 2 a 外,其他年份滞后 0 ~ 3 a。安康地区近 63 a 年降水有显著 3 a 和 28 a 的变化周期,与太阳黑子相对数的 9 a 变化周期存在较大差异,表明太阳黑子活动对安康地区降水影响较小。

4.2 讨论

降水受自然环境和人类活动等多种要素影响,因此其影响因素也呈现复杂多样。ENSO 事件是影响全球气候年际变化的重要因子之一,其异常变化是导致东亚季风区降水异常的关键因素[1,27]。马利民等[28]利用秦岭树轮宽度重建了 1743 年以来的南方涛动指数(SOI),该序列有显著的 2 ~ 3 a 变化周期。赵一飞等[29]认为,陕甘地区降水与 ENSO 在 3 ~ 6 a 呈负位相的共振周期。李志等[30]认为,泾河流域年降水与 SOI 在 2 ~ 5 a 存在一定对应关系。笔者认为安康地区年降水 2 ~ 5 a 变化周期与上述 ENSO 事件变化周期存在对应关系,表明 ENSO 事件对安康地区降水有一定影响。BAIK 和胡庆芳等[31-32]认为,随着城市化水平的快速推进,城市热岛效应增强,进而使得城市降水增加。近 63 a 安康地区城市化水平不断提高同时城市热岛效应也会相应增强,该区降水增加是对这种变化的响应。安康地区近 63 a 年降水与太阳黑子相对数的变化并不存在可靠的对应关系,表明太阳黑子活动对安康地区降水的影响较小。本文仅分析了安康地区年降水量与太阳黑子活动的关系,而安康地区降水量主要集中在夏、秋季,因此,有待从不同季节尺度上对降水与太阳黑子活动的关系进行深入研究。未来,随着全球气候变暖加剧和城市化水平不断提高,安康地区降水可能会进一步增加,季节差异也会更加显著。

参考文献(References):

〔1〕 闪丽洁,张利平,张艳军,等. 长江中下游流域旱涝急转事件特征分析及其与 ENSO 的关系〔J〕. 地理学报,2018,73(1):25-40.〔Shan Lijie,Zhang Liping,Zhang Yanjun,et al. Characteristics of dry-wet abrupt alternation events in the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin and their relationship with ENSO〔J〕. Acta Geographica Sinica,2018,73(1):25-40.〕

〔2〕 宇峰,原志华,李文正,等. 1961—2013 年黄土高原地区旱涝特征及极端和持续性分析〔J〕. 地理研究,2017,36(2):345-360.〔Yu Feng,Yuan Zhihua,Li Wenzheng,et al. Extreme and persistent analysis of drought-flood variation in the Loess Plateau during 1961-2013〔J〕. Geographical Research,2017,36(2):345-360.〕

〔3〕 燕玉超,张福平,刘筱,等. 河南省气候变化特征及其对旱涝的

影响[J]. 中国沙漠,2016,36(3):777 – 786. [Yan Yuchao, Zhang Fuping, Liu Xiao, et al. Climate change and its influence on drought and flood in Henan, China[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(3): 777 – 786.]

[4] 姚俊强,杨青,毛炜峄,等. 西北干旱区大气水分循环要素变化研究进展[J]. 干旱区研究,2018,35(2):269 – 276. [Yao Junqiang, Yang Qing, Mao Weiyi, et al. Progress of study on variation of atmospheric water cycle factors over arid region in Northwest China[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(2): 269 – 276.]

[5] 李天霄,付强,孟凡香,等. 黑龙江省降水变化趋势及其对农业生产的影响研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(5):103 – 108. [Li Tianxiao, Fu Qiang, Meng Fanxiang, et al. Variation of precipitation and its impact on agricultural production in Heilongjiang Province[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(5): 103 – 108.]

[6] 任国玉,任玉玉,战云健,等. 中国大陆降水时空变异规律——Ⅱ. 现代变化趋势[J]. 水科学进展,2015,26(4):451 – 465. [Ren Guoyu, Ren Yuyu, Zhan Yunjian, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: II: Recent trends[J]. Advances in Water Science, 2015, 26(4): 451 – 465.]

[7] 徐新创,张学珍,戴尔阜,等. 1961—2010 年中国降水强度变化趋势及其对降水量影响分析[J]. 地理研究,2014,33(7): 1 335 – 1 347. [Xu Xinchuang, Zhang Xuezhen, Dai Erfu, et al. Research of trend variability of precipitation intensity and their contribution to precipitation in China from 1961 to 2010[J]. Geographical Research, 2014, 33(7): 1 335 – 1 347.]

[8] 商沙沙,廉丽姝,马婷,等. 近 54 a 中国西北地区气温和降水的时空变化特征[J]. 干旱区研究,2018,35(1):68 – 76. [Shang Shasha, Lian Lishu, Ma Ting, et al. Spatiotemporal variation of temperature and precipitation in Northwest China in recent 54 years[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(1): 68 – 76.]

[9] 吕俊梅,祝从文,琚建华,等. 近百年中国东部夏季降水年代际变化特征及其原因[J]. 大气科学,2014,38(4):782 – 794. [Lv Junmei, Zhu Congwen, Ju Jianhua, et al. Interdecadal variability in summer precipitation over East China during the past 100 years and its possible causes[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2014, 38(4): 782 – 794.]

[10] 李双双,杨赛霓,刘宪锋. 1960—2013 年秦岭—淮河南北极端降水时空变化特征及其影响因素[J]. 地理科学进展,2015,34(3):354 – 363. [Li Shuangshuang, Yang Saini, Liu Xianfeng. Spatiotemporal variability of extreme precipitation in north and south of the Qinling-Huaihe region and influencing factors during 1960 – 2013[J]. Advances in Earth Science, 2015, 34(3): 354 – 363.]

[11] 李芬,张建新,郝智文,等. 山西降水与 ENSO 的相关性研究[J]. 地理学报,2015,70(3):420 – 430. [Li Fen, Zhang Jianxin, Hao Zhiwen, et al. Correlation analysis of rainfall and ENSO in Shanxi[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(3): 420 – 430.]

[12] Neff U, Burns S J, Mangini A, et al. Strong coherence between solar variability and the monsoon in Oman between 9 and 6 kyr ago[J]. Nature, 2001, 411(6 835): 290 – 293.

[13] Ma L H, Han Y B, Yin Z Q. The possible influence of solar activity on Indian summer monsoon rainfall[J]. Applied Geophysics, 2007, 4(3): 231 – 237.

[14] Zhang P, Cheng H, Edwards R L, et al. A test of climate, sun, and culture relationships from an 1 810-year Chinese cave record[J]. Science, 2008, 322(5 903): 940 – 942.

[15] Bal S, Bose M. A climatological study of the relations among solar activity, galactic cosmic ray and precipitation on various regions over the globe[J]. Earth and Environmental Science, 2010, 119(2): 201 – 209.

[16] Wang Jingsong, Zhao Liang. Statistical tests for a correlation between decadal variation in June precipitation in China and sunspot number[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2012, 117(23): 1 – 10.

[17] 曹永强,刘佳佳,高璐. 近 54 年来辽西北地区降水与太阳黑子关系研究[J]. 地理科学,2015,35(8):1 027 – 1 032. [Cao Yongqiang, Liu Jiajia, Gao Lu. Relationship between sunspots and precipitation in Northwestern Liaoning in recent 54 years[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(8): 1 027 – 1 032.]

[18] 张肖南,史兴民,杨尚英. 西安夏、秋季降水与太阳黑子的关系[J]. 干旱区研究,2013,30(3):485 – 490. [Zhang Xiaonan, Shi Xingmin, Yang Shangying. Relationship between number of sunspots and rainfall in Xi'an in summer and autumn[J]. Arid Zone Research, 2013, 30(3): 485 – 490.]

[19] 马晓刚,李凝,张旭,等. 阜新夏季异常降水在太阳活动周期的规律研究[J]. 灾害学,2017,32(3):107 – 111. [Ma Xiaogang, Li Ning, Zhang Xu, et al. Research on the law of summer anomalous precipitation in Fuxin in the Solar cycle[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(3): 107 – 111.]

[20] 付建新,曹广超,李玲琴,等. 1960—2014 年祁连山中东段及其附近地区气温时空变化特征[J]. 干旱区研究,2018,35(3): 549 – 561. [Fu Jianxin, Cao Guangchao, Li Lingqin, et al. Spatio-temporal variation of air temperature in the middle and eastern parts of the Qilian Mountains and the nearby regions during the period of 1960 – 2014[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(3): 549 – 561.]

[21] 李佳秀,杜春丽,杜世飞,等. 新疆极端降水事件的时空变化及趋势预测[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1 103 – 1 112. [Li Jiaxiu, Du Chunli, Du Shifei, et al. Temporal-spatial variation and trend prediction of extreme precipitation events in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2015, 32(6): 1 103 – 1 112.]

[22] 李斌,解建仓,胡彦华,等. 近 50 年陕南地区降水时空变化特征[J]. 水资源与水工程学报,2017,28(1):14 – 19,25. [Li Bin, Xie Jiancang, Hu Yanhua, et al. Spatiotemporal variability of precipitation in south of Shaanxi Province in recent 50 years[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2017, 28(1): 14 – 19, 25.]

[23] 刘维成,张强,傅朝. 近 55 年来中国西北地区降水变化特征及影响因素分析[J]. 高原气象,2017,36(6):1 533 – 1 545. [Liu Weicheng, Zhang Qiang, Fu Zhao. Variation characteristics of precipitation and its affecting factors in Northwest China over the past 55 years[J]. Plateau Meteorology, 2017, 36(6): 1 533 – 1 545.]

[24] 乐贵明,王家龙. 太阳黑子相对数最强周期的小波分析[J]. 地球物理学报,2004,47(5):744 – 747. [Le Guiming, Wang Jialong. Wavelet analysis of the periods with relatively most sunspot

numbers〔J〕. Chinese Journal of Geophysics,2004,47(5):744 – 747.
〔25〕 杨若文,曹杰,黄玮,等. 太阳常数与太阳黑子数关系的交叉小波分析〔J〕. 科学通报,2009,54(7):871 – 875.〔Yang Ruowen, Cao Jie, Huang Wei, et al. Cross wavelet analysis of the relationship between total solar irradiance and sunspot number〔J〕. Chinese Science Bulletin,2009,54(7):871 – 875.〕
〔26〕 奚秀梅,刘海隆. 塔里木河干流径流量变化与太阳黑子活动的关系〔J〕. 地理科学进展,2013,32(6):880 – 886.〔Xi Xiumei, Liu Hailong. Relationship between annual runoff of the mainstream of Tarim River and sunspots activity〔J〕. Progress in Geography, 2013,32(6):880 – 886.〕
〔27〕 赵强,严华生,程路. ENSO 发展和衰减阶段的陕西夏季降水异常特征〔J〕. 应用气象学报,2013,24(4):495 – 503.〔Zhao Qiang, Yan Huasheng, Cheng Lu. Characteristics of Shaanxi summer precipitation anomalies in ENSO developing and decaying stages〔J〕. Journal of Applied Meteorological Science,2013,24(4): 495 – 503.〕
〔28〕 马利民,刘禹,安芷生. 秦岭树轮记录中的 ENSO 事件〔J〕. 海洋地质与第四纪地质,2001,21(3):93 – 98.〔Ma Limin, Liu Yu, An Zhisheng. ENSO events from tree-ring width in Qinling Mountain〔J〕. Marine Geology & Quaternary Geology, 2001, 21(3):93 – 98.〕
〔29〕 赵一飞,邹欣庆,张勃,等. 黄土高原甘肃区降水变化与气候指数关系〔J〕. 地理科学,2015,35(10):1 325 – 1 332.〔Zhao Yifei, Zou Xinqing, Zhang Bo, et al. Precipitation variation in association with climate indices in Loess Plateau of Gansu Province, Northwest China〔J〕. Scientia Geographica Sinica,2015,35(10): 1 325 – 1 332.〕
〔30〕 李志,王健,刘文兆. 泾河流域气候变化及其与 ENSO 的关系〔J〕. 地理科学进展,2010,29(7):833 – 839.〔Li Zhi, Wang Jian, Liu Wenzhao. Climate changes in Jinghe watershed and its relationship with ENSO〔J〕. Progress in Geography, 2010, 29(7): 833 – 839.〕
〔31〕 Baik J J, Kim Y H, Kim J J, et al. Effects of boundary-layer stability on urban heat island-induced circulation〔J〕. Theoretical and Applied Climatology,2007,89(1 – 2):73 – 81.
〔32〕 胡庆芳,张建云,王银堂,等. 城市化对降水影响的研究综述〔J〕. 水科学进展,2018,29(1):138 – 150.〔Hu Qingfang, Zhang Jianyun, Wang Yintang, et al. A review of urbanization impact on precipitation〔J〕. Advances in Water Science,2018,29(1):138 – 150.〕

Correlation Between Sunspot Activity and Precipitation in the Ankang Region in Recent 63 Years

ZHANG Bei-bei, WANG Peng, ZHANG Hui, WU Yue-xuan, WANG Miao-miao

(*College of Geography and Environment, Shaanxi Province Key Laboratory of Disaster Survey and Mechanism Simulation, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji* 721013, *Shaanxi, China*)

Abstract: In this study, the Mann-Kendall test and Morlet wavelet analysis were used to lucubrate the variation of precipitation and its relationship with the relative number of sunspots in the Ankang region in recent 63 years based on the data of relative annual number of sunspots and daily precipitation observed by Ankang Meteorological Station, Ankang Meteorological Bureau during the period of 1953 – 2015. The results showed that, in the Ankang region, the annual and summer precipitations were significantly increased with increments of 0.99 $mm \cdot a^{-1}$ and 1.65 $mm \cdot a^{-1}$ respectively. The spring, autumn and winter precipitations were decreased slightly with reductions of 0.26 $mm \cdot a^{-1}$, 0.35 $mm \cdot a^{-1}$ and 0.06 $mm \cdot a^{-1}$ respectively. Precipitation occurred mainly in summer and autumn. There was a 0 – 3 a time lag of the anomaly of extreme precipitation than the occurrence of peak-valley value of relative sunspot number. There were the significant 3 a and 28 a variation periods of annual precipitation in the Ankang region, which was different from the 9 year variation period of relative sunspot number.

Key words: precipitation; sunspot; moving average; wavelet analysis; Ankang region